

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



PASANTÍA DE PRÁCTICA PROFESIONAL SOBRE:

“ELABORACIÓN DE MANUAL TÉCNICO DE OPERACIONES PARA VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DEL PROGRAMA DE APLICACIONES AÉREAS Y TERRESTRES PARA PRESTADORES DE SERVICIOS “WILFREDO QUINTANILLA” AGRONEGOCIOS CHAPARRASTIQUE Y “SADSUR” SOLUCIONES AGRÍCOLAS DEL SUR S.A DE C.V. DE COMPAÑÍA AZUCARERA SALVADOREÑA S.A DE C.V”

POR:

BR. EDWIN OSWALDO CASTRO CAMPOS.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



PASANTÍA DE PRÁCTICA PROFESIONAL SOBRE:

“ELABORACIÓN DE MANUAL TÉCNICO DE OPERACIONES PARA VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DEL PROGRAMA DE APLICACIONES AÉREAS Y TERRESTRES PARA PRESTADORES DE SERVICIOS “WILFREDO QUINTANILLA” AGRONEGOCIOS CHAPARRASTIQUE Y “SADSUR” SOLUCIONES AGRÍCOLAS DEL SUR S.A DE C.V. DE COMPAÑÍA AZUCARERA SALVADOREÑA S.A DE C.V”.

POR:

BR. EDWIN OSWALDO CASTRO CAMPOS.

REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO.

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. AGR. MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA.

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. MAECE NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO.

SECRETARIO:

ING. AGR. MSc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE:

ING. AGR. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO.

ASESORES:

ING. AGR. MAECE NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO.

ING. AGR. JUAN FRANCISCO CÁCERES CORADO.

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO DEL DEPARTAMENTO

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA.

Dedicatoria

Me llena de orgullo dedicar este trabajo de grado a varias personas que fueron pilares y ejemplo a seguir durante este largo trayecto e importante etapa de mi vida.

A Dios: Por haberme dado vida, salud, sabiduría y fuerza para seguir a delante con mis propósitos y bendecir mi camino al éxito.

A mi madre: Por haber estado conmigo de principio a fin, por su apoyo incondicional y por creer en mi durante todo este tiempo. Te amo mami.

A mi padre: Que desde el cielo me ha cuidado y me ilumina para seguir adelante con todos mis proyectos. Te amo papi este logro es para vos, hasta el cielo.

A mi abuela: Mamalita hasta el cielo ya que no me dio el tiempo de que me viera como ingeniero, cosa que ella anhelaba mucho.

Agradecimientos

Agradecido con Dios ya que él me ha permitido llegar hasta aquí y poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi pequeña familia a mi hermana que también ha estado desde el principio hasta el fin decirle que la quiero mucho y que al fin dirá que su hermano es un ingeniero, a mis tíos, al tío Iván al tío Douglas que siempre me han apoyado y deseado todo lo mejor para mí y que de igual manera querían verme graduado.

A Mariam Denisse, persona muy importante en mi vida a que ha sido la mujer que siempre ha querido lo mejor para mí, por todo su apoyo incondicional, y estar conmigo en los momentos difíciles. Te amo.

A Massiel y a su computadora hp por soportar tanto trabajo y durar tanto tiempo incluso después de la vida útil de la misma. A Massiel Sibrián compañera de estudio que conocí durante este trayecto académico y que de igual manera ha sido una persona que siempre me ha brindado todo su apoyo.

Resumen

El proceso de pasantía profesional se llevó a cabo en las instalaciones de Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V (grupo CASSA), ubicadas en el departamento de Sonsonate, El Salvador. Trabajando en coordinación con la Universidad de El Salvador, específicamente en la Facultad de Ciencias Agronómicas, en el periodo de junio–diciembre del 2023, teniendo una duración de seis meses.

El objetivo principal del proceso de pasantía fue la elaboración de los manuales técnicos de operaciones para Vehículos Aéreos No Tripulados del programa de aplicaciones aéreas y terrestres para prestadores de servicios “Agronegocios Chaparrastique” y “SADSUR S.A de C.V”, de GRUPO CASSA.

Durante el periodo de pasantía se llevaron a cabo diversas actividades en campo como la completa inmersión y observación de los procedimientos operacionales con drones agrícolas para realizar una correcta y segura aplicación aérea en haciendas con áreas de cultivo de caña de azúcar; así también el levantamiento de información en campo como parámetros previos al vuelo como temperatura, humedad relativa y velocidades de viento permitidas para volar; parámetros de eficiencia del dron relacionado al límite de hectáreas diarias aplicadas, rendimientos y duración de baterías por vuelo, tiempo de vuelo desde que despegar y aterriza el equipo y tiempo de espera para el siguiente vuelo, etc.

Y en la fase de oficina en temas de revisión documental con la ayuda de la información recopilada en campo para ir generando el manual de estos equipos.

La elaboración de estos manuales tiene como propósito contar con una guía clara y detallada sobre las operaciones en campo con vehículos aéreos no tripulados (drones), a través de las empresas prestadoras del servicio de fumigación; en el área de aplicaciones aéreas de grupo CASSA. Cada manual posee una estructura de manera organizada, secuencial y detallada de las operaciones y procedimientos a seguir paso a paso para cada actividad que realiza la empresa que brinda este servicio. Además, se incluyen todas las funciones y responsabilidades de las personas que lideran la operación, contemplando de manera integral todos los procesos y lineamientos requeridos por la AAC (Autoridad de Aviación Civil), mediante los equipos VANT utilizados para la fumigación de fertilizantes y productos agroquímicos en todo el parque cañero de El Salvador que grupo CASSA posee. Proponiendo una experiencia formativa en el ámbito laboral, mediante la inmersión completa de los procesos productivos y tecnológicos de la última generación en el tema de agricultura de precisión que ofrecerá la formación de criterio y habilidades para el mercado laboral competitivo.

Palabras claves: VANT (Vehículos aéreos no tripulados), AAC (Autoridad de Aviación Civil) CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña S.A DE C.V), RACVANT (Regulación de los vehículos aéreos no tripulados), MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería).

Índice

Resumen	V
Introducción	1
1 Información de unidad productiva	2
1.1 Datos Generales.....	2
1.2 Localización.....	2
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Recursos	4
1.4.1 Humanos	4
1.4.2 Naturales	4
1.4.3 Instalaciones y equipos	4
1.5 Actividades actuales	4
1.5.1 Producción principal y otras.....	4
1.5.2 Situación técnica	4
1.5.3 Situación administrativa.....	5
1.5.4 Generalidades de aplicaciones aéreas	5
2 Análisis de la problemática en el sector	5
3 Metodología.....	7
3.1 Descripción de estudio	7
3.2 Metodología de escritorio.....	7
3.3 Metodología de campo.	8
4 Resultados y discusión.	9
4.1 Manual técnico de operaciones para vehículos aéreos no tripulados del programa de aplicaciones aéreas y terrestres para prestadores de servicios de Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V WILFREDO QUINTANILLA.....	10
4.2 Manual técnico de operaciones para vehículos aéreos no tripulados del programa de aplicaciones aéreas y terrestres para prestadores de servicios de Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V SADSUR S.A DE C.V.	87
5 Discusión de resultados.....	157
6 Conclusiones.	160
7 Recomendaciones.....	160
8 Bibliografía.....	161
9 Anexos.	162

Índice de cuadros.

Cuadro 1. Costos a considerar por cada aeronave.	159
---	-----

Índice de graficas.

Gráfico 1. Evolución del uso de aeronaves en CASSA.	157
Gráfico 2. Cobertura de gotas por centímetro cuadrado	158

Índice de figuras.

Figura 1. Ubicación de instalaciones Ingenio Central Izalco.....	2
Figura 2. Ubicación de las instalaciones edificio corporativo Madreselva.....	3
Figura 3. Reunión en línea sobre planificación y presentación operativa de aplicaciones aéreas.	162
Figura 4. Boot-camp grupo CASSA aplicaciones aéreas.	163
Figura 5. Boot-camp grupo CASSA aplicaciones aéreas.	163

Figura 6. Identificación de instrumentos y equipo en campo en la hacienda “El cacao” Nahulingo. Sonsonate. VANT Hylío AG-116	164
Figura 7. Recorrido dentro de las instalaciones en la Central Izalco.	165
Figura 8. Recorrido dentro de las instalaciones en la Central Izalco.	165
Figura 9. Conocimiento de equipo utilizado en la hacienda “El cajón de los lagartos” San Carlos Lempa. Usulután. VANT DJI AGRAS T30.	166
Figura 10. Reunión en Autoridad de Aviación Civil de El Salvador.....	167
Figura 11. Reuniones en las instalaciones de Central Izalco	168
Figura 12. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.	168
Figura 13. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.	169
Figura 14. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.	169
Figura 15. Talleres impartidos por técnicos del área de aplicaciones aéreas en el programa de aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.....	170
Figura 16. Edificio corporativo Madreselva en La Libertad, El Salvador.	171
Figura 17. Reunión con nuevo tutor externo Ing. Juan Francisco Corado jefe de departamento del P.A.A.T de grupo CASSA.....	171
Figura 18. Reunión en línea con Ing. Ivan Bethancourt analizando la guía de contenido para el manual de operaciones.	172
Figura 19. Visita de campo a base de operaciones con SADSUR S.A de C.V. con Ing. Bertilo Muñoz Gerente general.	172
Figura 20. Presentación de avances con tutor externo Ing. Luis Javier del programa de aplicaciones aéreas y terrestres	173
Figura 21. Presentación de avances técnicos con tutor externo Ing. Juan Corado del programa de aplicaciones aéreas y terrestres	173
Figura 22. Informes mensuales firmados y sellados por tutor externo en edificio corporativo Madreselva, en La Libertad.....	174
Figura 23. Operador de VANT chequeando condiciones ambientales durante la operación en campo, “SADSUR S.A DE C.V”	175
Figura 24. Presentación de avances con Lic. Mónica Marroquín jefa de gestión de calidad en compañía azucarera.	175
Figura 25. Recorrido dentro de las instalaciones de COPAL y reunión con gerente Wilfredo Quintanilla, prestador de servicio “Agronegocios Chaparrastique”	176
Figura 26. Visita a hacienda Amatecampo, con empresa prestadora de servicio SADSUR S.A DE C.V	177
Figura 27. Equipo VANT DJI AGRAS T20 utilizado en la operación con planta eléctrica para recargar baterías de dron en hacienda Amatecampo, con empresa prestadora de servicio SADSUR S.A DE C.V	177
Figura 28. Reunión con gerentes generales de las empresas prestadores de servicios en el edificio corporativo Madreselva en Santa Elena, La Libertad.	178
Figura 29. Reuniones con Ing. Renato Neira de Autoridad de Aviación Civil (AAC) y tutor externo de grupo CASSA, en línea.	178

Introducción

El contenido de este trabajo comprende la tercera fase de cinco planteadas por la AAC (Autoridad de Aviación Civil de El Salvador), que contempla el proceso de “certificación técnico y legal” para drones agrícolas, por ende, dentro de la tercera fase “evaluación documental” se generan los manuales de operaciones de los equipos VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), fase en la cual interviene la participación como pasante en grupo CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V).

Los manuales de operaciones representan un documento muy útil y de alta calidad para GRUPO CASSA y también para la AAC; Su importancia radica en que este contempla todos los procesos y lineamientos exigidos por dicha institución (RACVANT 2022) y contiene los procedimientos de toda la operación llevada en campo mediante los equipos VANT utilizados para la fumigación de fertilizantes y productos agroquímicos en todo el parque cañero de El Salvador que grupo CASSA posee, a través de las empresas prestadoras del servicio de fumigación que trabajan para grupo CASSA, esto con el fin de lograr la registración y matriculación de estos vehículos aéreos no tripulados en la AAC con fines de que esta institución tenga un mejor control de las aeronaves que sobrevuelan el espacio aéreo salvadoreño y también para el estudio e investigación en caso de presentarse algún tipo de accidente o incidente durante alguna aplicación aérea con dron agrícola. Posicionando de esta manera a grupo CASSA como empresa pionera en brindar un servicio de fumigación aprobado por el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y certificado por AAC, posicionando a la empresa en otro nivel de calidad de servicios agrícolas.

El manual de operaciones consta de VI capítulos cada uno con sus respectivos subtemas; en el capítulo I, se encuentra inicialmente con la introducción el objeto y alcance del manual de operaciones, las abreviaturas y definiciones. En el capítulo II, trata de la organización y responsabilidades en donde se abordan temas de las funciones y responsabilidades que cumple todos los miembros dentro de la organización y la posición a cargo que cumplen dentro de la empresa. En el capítulo III entrenamiento, se detallan los entrenamientos, capacitaciones recibidas, para certificarse y optar al cargo de piloto de equipos VANT. En el capítulo IV, descripción de los equipos VANT, se abordan características físicas, dimensiones, sistemas, subsistemas, rendimientos de la aeronave, sistema de propulsión, controles de vuelo, sensores, navegación, modos de vuelo, y estación de control. Continuando al capítulo V operaciones, se describe básicamente el tipo de operaciones a realizar en campo, riesgos asociados, la complejidad de las operaciones, las condiciones en las cuales estas operaciones se ejecutan, criterios de despegue y aterrizaje, el análisis de riesgos, bitácoras de vuelo, y el plan de vuelo en sí; En el capítulo VI seguridad, trata sobre las medidas adoptadas para evitar actos de interferencia ilícita, y las medidas para evitar la interferencia del sistema de comunicación de la aeronave con la estación.

El alcance en la elaboración de los manuales de operaciones se dirige a grupo CASSA y a las empresas prestadoras del servicio de fumigación que trabajan para CASSA; y por último y no menos importante para la AAC que es la institución que brindara la aprobación y certificación para las aeronaves de este servicio.

1 Información de unidad productiva

1.1 Datos Generales

La compañía cuenta con los ingenios Central Izalco en Sonsonate e Ingenio Chaparrastique en San Miguel, los cuales poseen una molida de 22 mil toneladas métricas diarias. Se abastece de 34,000 hectáreas cultivadas de caña de azúcar y otra área de cultivo forestal (CASSA 2018).

1.2 Localización

La pasantía profesional se llevó a cabo en Compañía Azucarera Salvadoreña grupo CASSA ubicado en el km. 62 ½ carretera a Sonsonate cantón Huisacayalate, Izalco, Sonsonate. El Salvador, C. A. (Ver figura 1). Ubicado en el occidente del país. Sus coordenadas geográficas son 13°43'53" N y 89°43'14" W, con elevación de 220 msnm. Y en las oficinas corporativas que están ubicadas en el edificio Madreselva segundo nivel, Antiguo Cuscatlán departamento de La libertad. El salvador. (ver figura 2) con coordenadas geográficas 13°65'97" N y 89°25'47" W y con una elevación de 700 msnm.



Figura 1. Ubicación de instalaciones Ingenio Central Izalco.



Figura 2. Ubicación de las instalaciones edificio corporativo Madreselva

1.3 Antecedentes

En 1964, nace Compañía Azucarera Salvadoreña (CASSA), con la inauguración de su planta de producción de azúcar denominada Central Izalco. Sus fundadores, el Sr. Tomás Regalado González y la Sra. María Regalado Mathies se comprometieron a crear un negocio para desarrollar la producción de caña de azúcar e impulsar el crecimiento social y económico del país. Actualmente, el Ingenio produce una variedad de tipos de azúcar para los mercados nacionales, internacionales, industriales y de consumo directo; asimismo, posee su planta de cogeneración de energía. La capacidad de molienda diaria es de 22,000 toneladas de caña de azúcar. Este es el ingenio productor de azúcar salvadoreño más grande de la región (CASSA 2018).

En El Salvador se cultivan 80,000 hectáreas de las cuales 34,000 tiene influencia CASSA, representando el 45 % de la caña cultivada en el país. El cultivo aporta al PIB el 2.7 % y el 12 % del PIB Agropecuario, según datos publicados por la Asociación Azucarera Salvadoreña (Azúcar de El Salvador, 2016). Generando así 50,000 empleos directos y 200,000 indirectos aportando valor a la economía salvadoreña.

1.4 Recursos

1.4.1 Humanos

En la Dirección Agrícola de CASSA laboran cerca de las 650 personas durante la zafra de caña, periodo denominado la cosecha entre los meses de noviembre a abril (CASSA 2020). CASSA cuenta con un capital humano cerca de las 5,000 personas, enfocando el valor principal de la compañía en sus colaboradores y cuenta con la infraestructura de dos ingenios (CASSA 2018).

1.4.2 Naturales

CASSA posee dentro de sus áreas de mitigación a los efectos del cambio climático cerca de 2,000 hectáreas de cultivos forestales, además apoya a proyectos de conservación de la fauna y flora local en varios municipios del país. CASSA es parte del Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC) generando aportes importantes al modelo de producción sostenible y certificado bajo los estándares internacionales como BONSUCRO, ISO, FAIR TRADE y KOSHER (CASSA 2020).

1.4.3 Instalaciones y equipos

Compañía azucarera cuenta con una infraestructura de dos ingenios azucareros ubicados en Sonsonate y San Miguel. también CASSA por parte de la Dirección Agrícola cuenta con recursos propios para la producción de caña de azúcar integrada por diferentes áreas como: administración y finanzas, operación y control de procesos, Transferencia de Tecnología, Producción Agrícola, Investigación Agrícola, Cosecha y el Área de Servicios Agrícolas en la cual está integrado el Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres (CASSA 2020).

1.5 Actividades actuales

1.5.1 Producción principal y otras

CASSA se dedica a la producción de azúcar cruda, azúcar refino, melaza y a la cogeneración de electricidad para inyectarla a la red de abastecimiento de energía. Adicionalmente, forma parte del consorcio ALMAPAC (Almacenadora del Pacífico), dedicado al almacenamiento y logística portuaria, ubicada en el municipio de Acajutla (CASSA 2020).

1.5.2 Situación técnica

CASSA, a través de la Dirección Agrícola, está generando cambios en la manera de producir caña de manera sostenible con el ambiente y en armonía de las comunidades locales, siendo el grupo azucarero que más cosecha mecanizada desarrolla en el país y la reducción significativa de carga química por hectárea por año, según lo exige el estándar BONSUCRO, que es una Asociación de Productores de caña de azúcar y Procesadores en Cadena, cuyo objetivo es asegurar un futuro sostenible en la producción de caña de azúcar. Lo anterior, se traduce en menos uso de agroquímicos que se depositan en el ambiente (CASSA 2020).

1.5.3 Situación administrativa

La administración de las actividades agrícolas está guiada por el director Agrícola y es este quien genera los lineamientos técnicos que se desarrollaran durante cada quinquenio ajustándose anualmente según sea el contexto que se desarrolle. Es aquí en donde se generó el lineamiento de la búsqueda de eficiencia operativa de los VANT para las aplicaciones aéreas en las áreas de influencia de la compañía (CASSA 2020).

1.5.4 Generalidades de aplicaciones aéreas

En 1911 el inspector forestal alemán, Alfred Zimmermann, obtuvo la patente sobre la idea de usar aviones como pulverizadores en el control de plagas. Por tal motivo se lo reconoce como el padre de la aviación agrícola. El primer país que utilizó la aplicación aérea fue Suiza y luego en 1922 se iniciaron las aplicaciones en Rusia. Un año después surgió en Estados Unidos la primera empresa de aviación agrícola en el mundo llamada HUFF-DALAND Dusters, Inc. (Cunha y Carvalho 2010).

2 Análisis de la problemática en el sector

Los drones agrícolas representan una tecnología reciente en el sector, y el uso de los mismos debe estar amparado en conocimiento técnico y científico; para obtener los mejores desempeños con esta innovación tecnológica. El proyecto de la elaboración de los manuales técnicos de operaciones para VANTs en la aplicación de agroquímicos dentro del Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres de Grupo CASSA, posee gran relevancia ya que permitirán desarrollar de manera sistemática actividades que no estaban registradas en un proceso de gestión de la calidad, por lo que no podía ser medible ni trazable en el tiempo, por ende ayudará a corregir las fallas en el sistema planteados con base a las mejoras continuas de la tecnología aplicadas a este campo de la agricultura 4.0., esta se define como el uso de grandes volúmenes de datos obtenidos por los sistemas de información, aplicados a prácticas agronómicas tradicionales, las cuales llevan a una transformación de la manera de producir, siendo operativamente más rentable y con menos impacto en el ambiente. Para ello, el uso de sensores remotos, conectividad de las maquinas, la inteligencia artificial está en constante evolución, siendo más evidente en la última década.

En El Salvador las aplicaciones aéreas se regulan bajo el acuerdo ejecutivo N° 423 emitido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el año 2011 (MAG, 2011), para ese entonces no estaba considerada esta aeronave en dicho reglamento, entonces los VANT deben de estar considerados para así tener una base legal de lo que son las aplicaciones aéreas de agroquímicos con este tipo de aeronave.

Por ende, al tratarse de Vehículos Aéreos No Tripulados que sobrevuelan el espacio aéreo salvadoreño, interviene la Autoridad de Aviación Civil y en ella la Regulación de los Vehículos Aéreos no tripulados "RACVANT", la cual busca facilitar la identificación de los VANTs así como su propietario y sus respectivos operarios; incorpora también la regulación de los VANT en función del uso y los requisitos para obtener un certificado de autorización de operaciones con VANT bajo la categoría de "trabajos aéreos", esto con el fin de lograr la inscripción y matriculación de estos vehículos aéreos no tripulados en la AAC con fines de que esta institución tenga un mejor control de las aeronaves que sobrevuelan el espacio

aéreo salvadoreño y también para el estudio e investigación en caso de presentarse algún tipo de accidente o incidente durante alguna aplicación aérea con dron agrícola

Con todo lo anterior se logra garantizar una seguridad operacional de estas clasificaciones que tiene por objeto establecer las condiciones de uso y operación de los vehículos aéreos no tripulados que sobrevuelan el espacio salvadoreño; aunado al cumplimiento de la RACVANT sub parte D (RACVANT 2022).

A estos nuevos retos se deberá preparar el personal a cargo de las operaciones con paquetes de actualización tecnológica de información utilizada en prácticas agronómicas tradicionales, debiendo registrarse la evolución y avances de las mejoras continuas de los procesos antes descritos.

Estos impactos dentro de la industria azucarera están en un momento de preciso cambio de evolucionar hacia mejores tecnologías con mejores prácticas agronómicas en las cuales puedan estar alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con énfasis al número 13 en acción por el clima, y el numero 15 vida de ecosistemas terrestres ya que estas nuevas aplicaciones de precisión contaminan menos por área de superficie aplicada lo que se traduce en un menor impacto al medioambiente; relacionado de igual manera el número 3 de salud y bienestar ya que esta nueva agricultura de precisión hay una menor exposición por parte del aplicador u operador con agroquímicos ayudando así prevenir enfermedades referentes a altos niveles de exposición y mejorar la salud humana; por lo tanto, este trabajo busca crear un documento que registre y corrija fallas por medio de medidas estandarizadas, en el uso de vehículos aéreos no tripulados al momento de realizar una aplicación de agroquímicos, ayudando a minimizar los riesgos asociados a esta delicada operación tanto en aire como en tierra.

La oportunidad de poder estudiar estas aeronaves, abrirá nuevos campos del proceso productivo con datos puros y repetibles que garanticen la generación de conocimiento sobre aplicaciones aéreas de agroquímicos en caña de azúcar con VANT en El Salvador.

Además, que abre las puertas en compañías líderes de sector agrícola, mostrando la capacidad y compromiso de los estudiantes de la Universidad de El Salvador en la generación de una nueva agricultura de precisión.

3 Metodología

La planificación del proyecto se llevó a cabo según la calendarización y programación establecida por el área de aplicaciones aéreas entre las cuales están:

- Levantamiento de información de las aplicaciones aéreas con VANT en campo
- Creación documental (generación de los manuales técnicos de operaciones)
- Presentación documental

3.1 Descripción de estudio

Las actividades planeadas desarrolladas fueron bajo la Dirección Agrícola en el área de Servicios Agrícolas en el Programa de Aplicaciones Aéreas y terrestres, trabajando en actividades de mejoras continuas en el tema de las aplicaciones aéreas de agroquímicos con VANT.

3.2 Metodología de escritorio

Como primer paso inductivo al mundo de las aplicaciones aéreas se realizó una revisión de instructivos de aplicaciones aéreas los cuales representan una información documental de bibliografía inscrita en el sistema de gestión de calidad de grupo CASSA bajo normativa ISO 9001 versión 2015, la cual ofreció un soporte a los argumentos que se registraron en el documento presente. Adicionalmente se escribió bajo el formato emitido por la Autoridad de Aviación Civil (AAC), "Regulación de los Vehículos Aéreos No Tripulados Revisión 03 del 22 de julio de 2022"; Formato que permitió la elaboración de los manuales técnicos de operaciones para equipos VANTs, para cada empresa prestadora del servicio.

En la AAC con el asesor externo el Ing. Iván Bethancourt se tuvo una reunión programada con el Ing. Renato Neira encargado de Ingeniería Aeronáutica; mediante la guía proporcionada se trataron temas relacionados a la creación de los manuales de operación y mantenimiento para los VANT con el objetivo de poder conocer cada capítulo a abordar en el desarrollo del manual.

Reuniones de manera presencial en las oficinas de la dirección agrícola en Sonsonate con las empresas prestadoras del servicio, relacionados a temas para conocer a fondo la estructura organizacional como los gerentes generales de las empresas, los responsables de la operación, formación, encargados de mantenimiento de equipos, designar los pilotos observadores y el auxiliar de aplicaciones aéreas en donde se recopiló la información y se generó un diagrama con la jerarquía de cada empresa.

Durante las próximas reuniones con personal encargado de cada empresa, se dio continuidad a temas relacionados con la elaboración del manual, y a presentar los apartados del mismo al asesor externo, los cuales fueron objeto de revisiones y correcciones en los capítulos correspondientes ya que era necesaria la aprobación para avanzar a la siguiente fase sin tener el aval del anterior. Asimismo, se llevó a cabo un chequeo de los formatos, asegurándose de que fueran los establecidos por la AAC y de manera que cumplieran con todos los requisitos necesarios para las aplicaciones aéreas con drones.

3.3 Metodología de campo.

En la primera etapa del proyecto de pasantía en el levantamiento de información, se visitó la hacienda Nahuilingo donde se tuvo el primer acercamiento con la empresa prestadora del servicio, ellos tienen drones Hylío® AG 116, se conoció al equipo y se hizo la respectiva entrevista en forma de preguntas y respuestas en temas operativos del equipo, su funcionamiento y como lo controlan durante la operación.

Se realizaron recorridos por las instalaciones de la Compañía Azucarera Salvadoreña grupo CASSA en Sonsonate con el objetivo de conocer las diferentes áreas y departamentos del ingenio.

Se hizo la visita a las bases de operaciones de las empresas prestadoras de servicio (SADSUR S.A DE C.V y Agronegocios Chaparrastique) ubicadas la primera en la zona paracentral y la segunda en la zona oriental, con el fin de conocer sus instalaciones y la distribución de las áreas dentro de la misma. Por ejemplo, el área de bodega de insumos, área de carga de batería, oficina administrativa, lugar de almacenamiento del equipo etc. Esto para poder identificar las áreas y poder hacer el plano de vistas de planta, plano que la AAC solicita dentro de los manuales.

Se recopiló información en campo sobre toda la operación de drones, desde el plan de vuelo procedimientos pre-vuelo, durante y post vuelo de las aeronaves; identificando procedimientos a seguir para realizar una aplicación aérea de calidad. Toda la información recopilada se registró en cada uno de los capítulos que exige el manual.

Cabe mencionar también que entre algunas de las actividades emergentes realizadas fue talleres con todas las comunidades aledañas a zonas de cultivo de caña de azúcar, en el denominado “aliados de la comunidad” taller enfocado en temas de formación, concientización y sostenibilidad agrícola, dentro de esta misma actividad se impartieron charlas técnicas sobre el nombre de los agroquímicos permitidos de acuerdo al grado de toxicidad y color de franja utilizados en campo con equipos VANTs.

Se verificó la manera de realizar una correcta aplicación aérea con dron agrícola paso a paso asistiendo múltiples aplicaciones redactando el plan de vuelo que se plasmó en el manual de operaciones (ver en manuales de operaciones, literal 5.2 “procedimientos de operaciones normales” contenido dentro de este trabajo) generado por cada empresa.

Se profundizó en el conocimiento detallado sobre las distintas marcas de drones, modelos y capacidades utilizados en las operaciones aéreas; detallando las especificaciones de los equipos en temas de estructura del dron, dimensiones, rendimiento de la aeronave, sistema de propulsión, sistema de pulverización, materiales de los cuales están hechos, control de vuelo, nombres de piezas y componentes de los cuales se constituyen los equipos, se realizaron chequeos previos al vuelo para garantizar la correcta manipulación y funcionamiento de los mismos. Finalmente se generaron los manuales de operaciones y se presentaron a las autoridades del departamento de servicios agrícolas (dentro del programa de aplicaciones aéreas) y recibiendo el aval por parte del asesor externo. Haciéndole entrega de los manuales. Esta metodología permitió obtener una perspectiva holística de las operaciones aéreas con VANT, desde el conocimiento de las instalaciones hasta la aplicación práctica de los procedimientos en el campo, integrando aspectos técnicos, de seguridad y sostenibilidad agrícola.

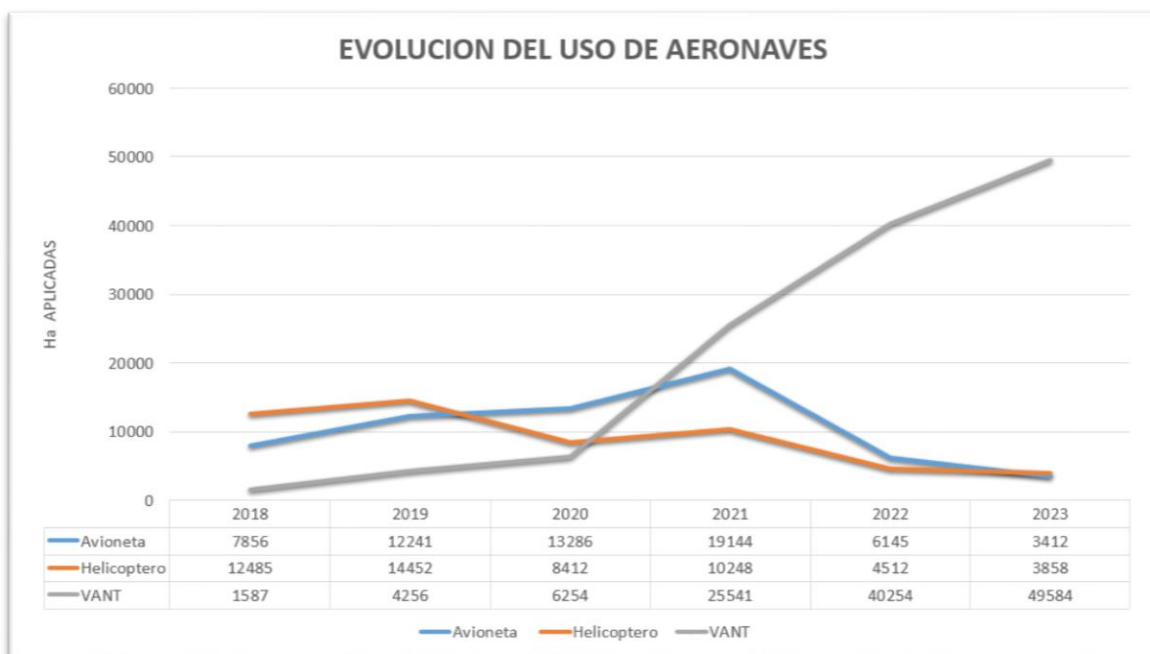
4 Resultados y discusión.

4.1 Manual técnico de operaciones para vehículos aéreos no tripulados del programa de aplicaciones aéreas y terrestres para prestadores de servicios de Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V WILFREDO QUINTANILLA

4.2 Manual técnico de operaciones para vehículos aéreos no tripulados del programa de aplicaciones aéreas y terrestres para prestadores de servicios de Compañía Azucarera Salvadoreña S.A de C.V SADSUR S.A DE C.V.

5 Discusión de resultados.

Gráfico 1. Evolución del uso de aeronaves en CASSA.

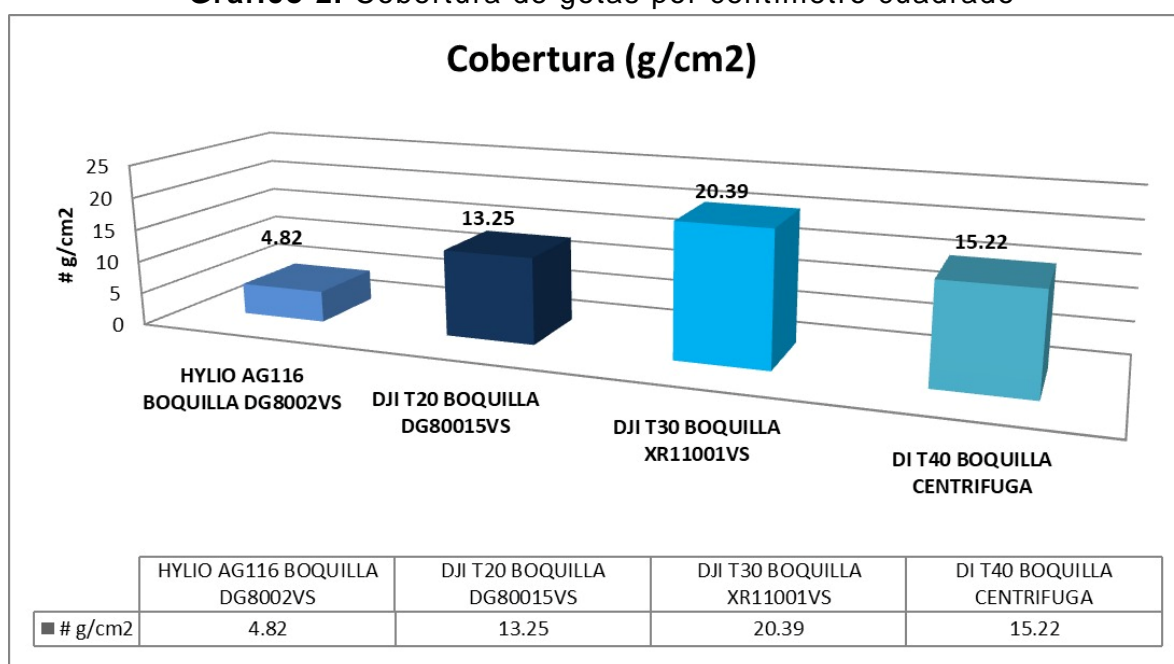


Análisis: La grafica muestra los años cronológicos desde el 2018 hasta el 2023 en donde a partir del año 2018 grupo CASSA introduce su primer dron a la compañía el MG1 de la marca DJI, dando inicio su recorrido trabajando en cultivo de caña de azúcar, compitiendo con los grandes de esa época que era la avioneta y el helicóptero; los técnicos de CASSA realizaron pruebas de eficiencias y rendimiento de hectáreas por hora, la prueba consistía en realizar una aplicación aérea con foliar a una altura de vuelo de 6 metros; con condiciones ambientales controladas; velocidad de viento menor a 3 km/h, temperatura de 30° centígrados, humedad relativa del 60% con cielo despejado y en horas frescas por la mañana; con una velocidad del dron de 25.5 km/h y una dosis de 15 litros por ha. A una elevación de 250 msnm. Los resultados fueron favorables ya que el dron realizo una hectárea en 14 minutos en dos vuelos, ya que la eficiencia se veía limitada por la capacidad del tanque de 10 litros del equipo; y con la utilización de dos baterías 7 minutos por batería hasta quedar sin carga; sin embargo los técnicos del área de aplicaciones áreas determinaron que hay una mayor optimización de recursos con dron en comparación con el uso de un helicóptero o avioneta ya que ambos necesitan de un helipuerto o pista para aterrizar, en cambio el dron es un equipo fácil de aterrizarlo y despegarlo dentro del lote, con respecto al funcionamiento este solo necesita de baterías recargadas para seguir trabajando en cambio la avioneta ocupa combustible que es mucho más costoso; técnicos de casa determinaron que el dron es rentable para trabajar en aplicaciones aéreas en caña de azúcar. A finales de ese mismo año las hectáreas aplicadas eran de 1,587 teniendo un incremento año con año, para el 2020 con 6,254 hectáreas, para ese año ya trabajaban las primeras empresas prestadoras del servicio con CASSA, a partir de ese año tuvo un incremento del 200% en comparación con el uso de la avioneta y el helicóptero; llegando así al 2023 con casi las 50,000 hectáreas aplicadas quedando prácticamente con muy pocas hectáreas programadas para las aeronaves tripuladas, dejando de ser estas en las

que un inicio predominaban las aplicaciones aéreas; la ventaja de la utilización de esta nueva innovación tecnológica, hay una menor exposición por parte de operador o personas involucradas durante la operación, no hay compactación del suelo, y representan una fumigación localizada en donde todo el producto que sale de la boquilla de aspersión llega al objetivo que es caña de azúcar; lo que se traduce en una aplicación de calidad.

El tema de recuperación de inversión, se ha determinado que dependiendo del valor del dron; actualmente la tecnología está en constante cambio, pero esta tecnología de los vehículos aéreos no tripulados dura aproximadamente de 2 a 3 años, en base a eso se recupera la inversión, dependiendo del costo del dron así va a ser la cantidad de áreas que se deben aplicar, ya que estos equipos se desfasan en este tiempo, por cuestiones que la fábrica deja de producir ciertas partes y repuestos.

Gráfico 2. Cobertura de gotas por centímetro cuadrado



Análisis: En base a los estudios y pruebas realizadas con las diferentes boquillas grupo CASSA determina que con las boquillas XR11001VS se obtiene una cobertura de casi 21 g/cm² sin embargo genera una gota más fina, y en campo debido a las condiciones ambientales adversas se necesita una gota más gruesa, Por esa razón la boquilla DG8002VS y la boquilla DG8005VS y la nueva boquilla centrifuga utilizada en DJI, se obtiene un numero de cobertura de gota menor por centímetro cuadrado, pero sin embargo se consigue una gota más gruesa. Adicionado a esto el tipo de boquillas DG son boquillas anti derivas, excelentes para trabajos aéreos. Por ende, al tener una gota más gruesa afecta menos la deriva; en relación a la HR (humedad relativa) una gota más gruesa hace que sea más pesada y cuando hay poca HR esta evita que la gota quede suspendida en el aire y que esta llegue hasta la planta. En temas de temperaturas altas también una gota más gruesa hace que sea más difícil de evaporarse.

Evaluación económica entre el uso de VANT, avioneta y helicóptero en aplicaciones aéreas de agroquímicos.

Las aplicaciones aéreas de agroquímicos en las áreas de producción de caña de azúcar de CASSA se utilizan tres diferentes tipos de aeronaves, VANT, avioneta y helicóptero, de las cuales cada uno de ellas tiene ciertas ventajas y desventajas. En el caso de los VANT, estos pueden ser utilizados fácilmente si se realiza aplicación de solo 1 hectáreas sin problema, mientras que, con la avioneta y helicóptero se deben utilizar para áreas más extensas desde 50 a más hectáreas para que sea rentable la utilización de las aeronaves.

Los VANT necesitan el uso de baterías, 2 personas para la ejecución de las aplicaciones (piloto y mezclador del producto agroquímico), vehículo 4x4, además de tener mantenimiento y piezas de recambio para el equipo y mantenerlo en funcionamiento. Con la avioneta se necesita 1 piloto con licencia de piloto aviador vigente, por la complejidad y destreza que se necesita, entonces, para el desarrollo de la aplicación se debe de contar por lo menos con una persona que haga la mezcla de los productos agroquímicos y lo traslade al tanque, además de tener en cuenta el combustible, una pista cercana e inmediata en caso de cualquier emergencia; y mantenimiento de la avioneta que debe de ser cada 6 meses. Para las aplicaciones con helicóptero se necesita de logística más compleja, ya que se debe de considerar el transporte desde el hangar hasta el área del cultivo, transporte del combustible, pipa con agua y tener un lugar disponible para aterrizar cercana al lugar de la aplicación, además de contar con 2 personas para mezclar el producto y trasladarlo al tanque y otra persona para trasladar el combustible, por otro lado, se debe de tomar en cuenta las horas de vuelo para realizar el mantenimiento; el cual es realizado fuera del país e implica un promedio de mes y medio en que el helicóptero no estará en operación.

Cuadro 1. Costos a considerar por cada aeronave.

Aeronave	Costo de aeronave	Combustible o baterías (Ha)	Precio combustible (galón) o baterías (c/u)	Mantenimiento	Tarifa/ Ha
VANT DJI T20	\$25,000	1 batería	\$1,200 / batería	\$3,500 / piezas	\$20.00
VANT HYLIO AG116	\$22,000	1 batería	\$1,200 / batería	\$4,000 / piezas	\$20.00
Avioneta	\$50,000	1 galón	\$8.50	\$30,000	\$20.00
Helicóptero	\$500,000	1.5 galones	\$9.24	\$250,000	\$30.00

Fuente: Grupo CASSA.

Los costos que conlleva el uso de VANT para aplicaciones de agroquímicos son los más bajos, en comparación con las otras dos aeronaves, pero de igual forma se necesita una inversión inicial grande ya que el costo de VANT puede ser de entre \$25,000-\$30,000, adicionándole las baterías extra para tener mayor autonomía con un costo individual de \$1200 y tener en cuenta el personal capacitado para el desarrollo de la operación, vehículo 4x4, mantenimiento y contar con piezas de recambio por ciertos desperfectos en la aeronave. En base a todos los costos que conlleva el desarrollo de la aplicación con las diferentes aeronaves, el costo de tarifa por hectárea aplicada por CASSA es de \$20.00/Ha para VANT y avioneta, el cual la avioneta tiene la misma tarifa que los VANTs pero lo compensa con la mayor cantidad de hectáreas que puede aplicar en un solo vuelo, por otro lado, con helicóptero la tarifa es de \$30/Ha, siendo esta aeronave la que implica mayores costos de operación y mayor complejidad en la logística.

6 Conclusiones.

Durante la completa inmersión y estudio de estos nuevos equipos implementados en la agricultura de precisión se comprueba que son mucho más efectivos y de calidad ya que ofrecen un servicio de fumigación focalizado prácticamente en donde todo el producto que cae es aprovechado por la planta presentando menos riesgos de deriva ya que no sobrepasan los 4 metros de altura desde el suelo a la parte terminal de las plantas.

Se comprueba también que las aplicaciones con equipos VANT generan mayor eficiencia productiva ya que la distribución y cobertura del producto cae en el blanco fijado, es decir al cultivo de caña de azúcar.

Dentro de las bondades de las nuevas tecnologías de drones es la posibilidad conectarse a un mismo polígono de trabajo lo que significa poder trabajar con uno o más drones al mismo tiempo, logrando de esta manera cubrir un número más de hectáreas en menos tiempo.

7 Recomendaciones.

Se recomienda que al momento de adquirir uno de estos equipos y prestar el servicio, optar por las capacitaciones y el entrenamiento necesario para poder operar estos equipos de manera segura, para ofrecer un servicio de calidad. De igual manera inscribirse y certificarse ante el MAG y la AAC para que estas instituciones otorguen la certificación para operar VANTs dentro de la legalidad.

Al momento de una aplicación es recomendable que todo el personal dentro de la operación vista con el equipo de protección personal pertinente para poder evitar cualquier accidente

Así mismo se debe de revisar el estado óptimo de la aeronave al momento previo de una aplicación en el sentido de revisar hélices en buen estado, monitorear el funcionamiento de cada motor, realizar prueba de boquillas con el objetivo de verificar la salida de líquido por cada boquilla, así se descarta la posibilidad de que alguna este obstruida y programar de manera adecuada todos los parámetros de vuelo antes de despegar

De igual manera previo a toda aplicación se debe de determinar si la condición ambiental son las adecuadas para llevarse a cabo la aplicación y así evitar problemas en temas de deriva, humedades relativas, excesos de temperatura entre otras.

Desarrollar jornadas de capacitación sobre calidad de aplicaciones de agroquímicos dirigidas hacia técnicos del área de producción agrícola, transferencia de tecnología, cosecha y empresas prestadoras de servicios de aplicaciones aéreas con el fin dar conocimiento sobre la importancia que se tiene en la producción del cultivo de caña de azúcar.

8 Bibliografía.

- AAES (Asociación Azucarera Salvadoreña). 2016. Impactos económicos PIB (Azúcar de El Salvador, 2016). (en línea). El Salvador. Consultado el 27 de febrero de 2023. Disponible en: <https://azucardeelsalvador.com/impactos-economicos/#PIB>
- (AAC) Autoridad de Aviación Civil, 2023, MANUAL DE OPERACIONES VANT - GUIA Y CONTENIDO, El Salvador, Consultado el 15 junio 2023, Disponible en: <https://www.aac.gob.sv/wp-content/uploads/2023/11/RAC-VANT-Edicion-02-rev-03.pdf>
- Ángel Amy, 2009. Impacto de aumento de los precios sobre los ingresos y el acceso a alimentos de pequeños productos agrícolas, el caso de El Salvador, (en línea) Consultado el 22 de febrero 2023. Disponible en: <https://amyangel.webs.com/peqprodIIICA.pdf>
- AAES (Asociación Azucarera de El Salvador). 2007. Antecedentes generales de los ingenios azucareros, (en línea) El Salvador Consultado el 28 de feb. 2023. Disponible en: https://nanopdf.com/download/capitulo-i-antecedentes-generales-de-los-ingenios-azucareros-a_pdf
- (AAC) Autoridad de Aviación Civil, 2023, Regulación de los vehículos aéreos no tripulados RAC-VANT edición 02 rev 03., El Salvador, Consultado el 15 junio 2023, Disponible en: <https://www.aac.gob.sv/wp-content/uploads/2023/11/RAC-VANT-Edicion-02-rev-03.pdf>
- CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña, S.A. de C.V). 2018. Informe de sostenibilidad y gestión 2018, (en línea), El Salvador, Consultado el 27 de feb. 2023, Disponible en: <https://www.grupocassa.com/newsite/wp-content/uploads/2020/09/INFORME-DE-SOSTENIBILIDAD-Y-GESTI%C3%93N-2018-GRUPO-CASSA.pdf>
- CASSA (Compañía Azucarera Salvadoreña, S.A. de C.V). 2020. Informe de sostenibilidad y gestión 2020, (en línea), El Salvador, Consultado el 27 de feb. 2023, Disponible en: https://www.grupocassa.com/newsite/wp-content/uploads/2021/04/INFORME_DE_SOSTENIBILIDAD_Y_GESTION_2020_GRUPO_CASSA.pdf.
- Cunha João Paulo; y Carvalho Wellington. 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos por vía aérea. Tecnología de Aplicación de Agroquímicos. (en línea) 13: 158-167. Consultado el 26 de ene. 2023. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8786/1/3911ris.pdf>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2011. Acuerdo N° 423 instructivo para las aplicaciones aéreas de insumos agrícolas; sobre la ley de control de pesticidas, fertilizantes y productos de uso agropecuario. 2011. (en línea). El Salvador. Consultado el 25 de noviembre de 2023. Disponible en: <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/mag/documents/264091/download>.
- Novak Mattew, 2009, Duración de boquillas según el material, tecnología de aplicación de plaguicidas. Oregón USA, disponible en: <https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00001453.pdf>

9 Anexos.



Figura 3. Reunión en línea sobre planificación y presentación operativa de aplicaciones aéreas.



Figura 4. Boot-camp grupo CASSA aplicaciones aéreas.



Figura 5. Boot-camp grupo CASSA aplicaciones aéreas.



Figura 6. Identificación de instrumentos y equipo en campo en la hacienda “El cacao” Nahulingo. Sonsonate. VANT Hylio AG-116



Figura 7. Recorrido dentro de las instalaciones en la Central Izalco.



Figura 8. Recorrido dentro de las instalaciones en la Central Izalco.



Figura 9. Conocimiento de equipo utilizado en la hacienda “El cajón de los lagartos” San Carlos Lempa. Usulután. VANT DJI AGRAS T30.



Figura 10. Reunión en Autoridad de Aviación Civil de El Salvador.



Figura 11. Reuniones en las instalaciones de Central Izalco



Figura 12. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.



Figura 13. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.



Figura 14. Talleres por parte de CASSA con aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate.



Figura 15. Talleres impartidos por técnicos del área de aplicaciones aéreas en el programa de aliados de la comunidad en hacienda “San Clemente”, Sonsonate

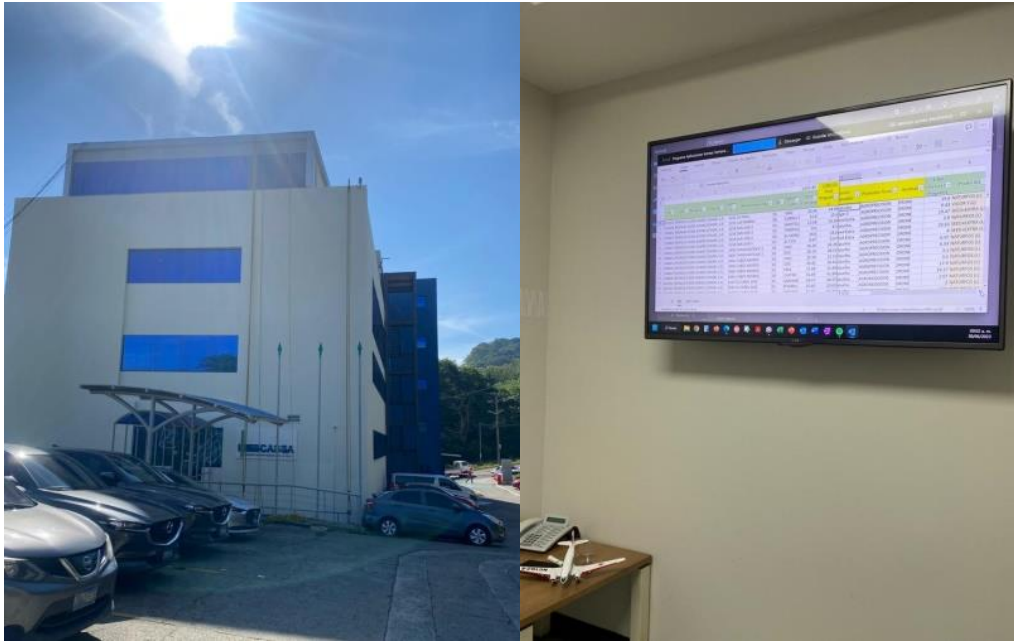


Figura 16. Edificio corporativo Madreselva en La Libertad, El Salvador.



Figura 17. Reunión con nuevo tutor externo Ing. Juan Francisco Corado jefe de departamento del P.A.A.T de grupo CASSA.

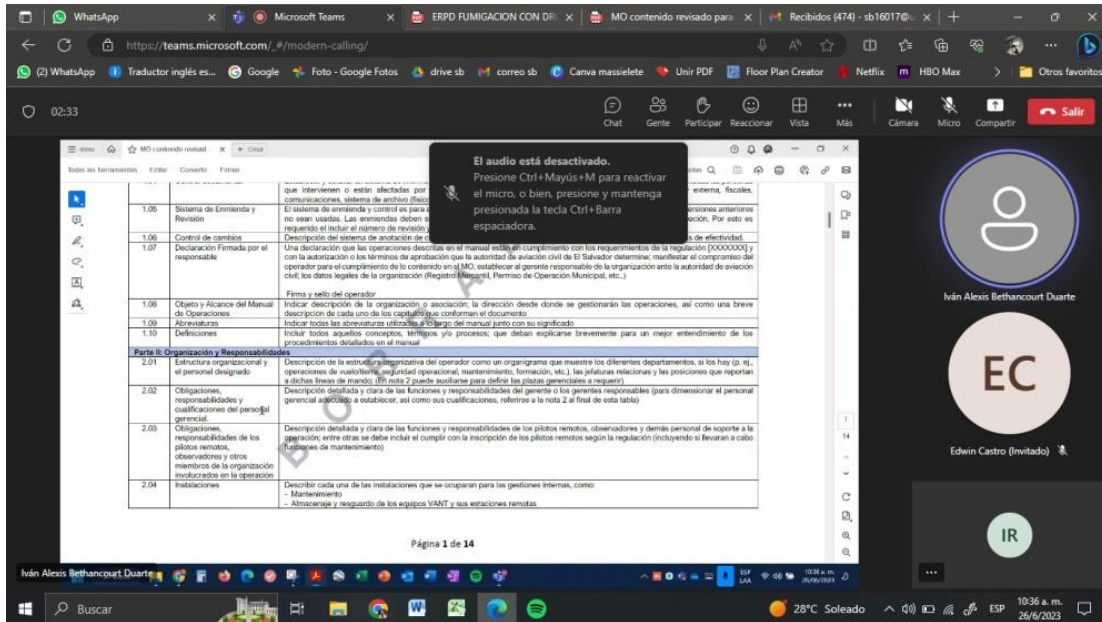


Figura 18. Reunión en línea con Ing. Ivan Bethancourt analizando la guía de contenido para el manual de operaciones.



Figura 19. Visita de campo a base de operaciones con SADSUR S.A de C.V. con Ing. Bertilo Muñoz Gerente general.



Figura 20. Presentación de avances con tutor externo Ing. Luis Javier del programa de aplicaciones aéreas y terrestres



Figura 21. Presentación de avances técnicos con tutor externo Ing. Juan Corado del programa de aplicaciones aéreas y terrestres



Figura 22. Informes mensuales firmados y sellados por tutor externo en edificio corporativo Madreselva, en La Libertad.



Figura 23. Operador de VANT chequeando condiciones ambientales durante la operación en campo, “SADSUR S.A DE C.V”



Figura 24. Presentación de avances con Lic. Mónica Marroquín jefa de gestión de calidad en compañía azucarera.



Figura 25. Recorrido dentro de las instalaciones de COPAL y reunión con gerente Wilfredo Quintanilla, prestador de servicio “Agronegocios Chaparrastique”



Figura 26. Visita a hacienda Amatecampo, con empresa prestadora de servicio SADSUR S.A DE C.V



Figura 27. Equipo VANT DJI AGRAS T20 utilizado en la operación con planta eléctrica para recargar baterías de dron en hacienda Amatecampo, con empresa prestadora de servicio SADSUR S.A DE C.V

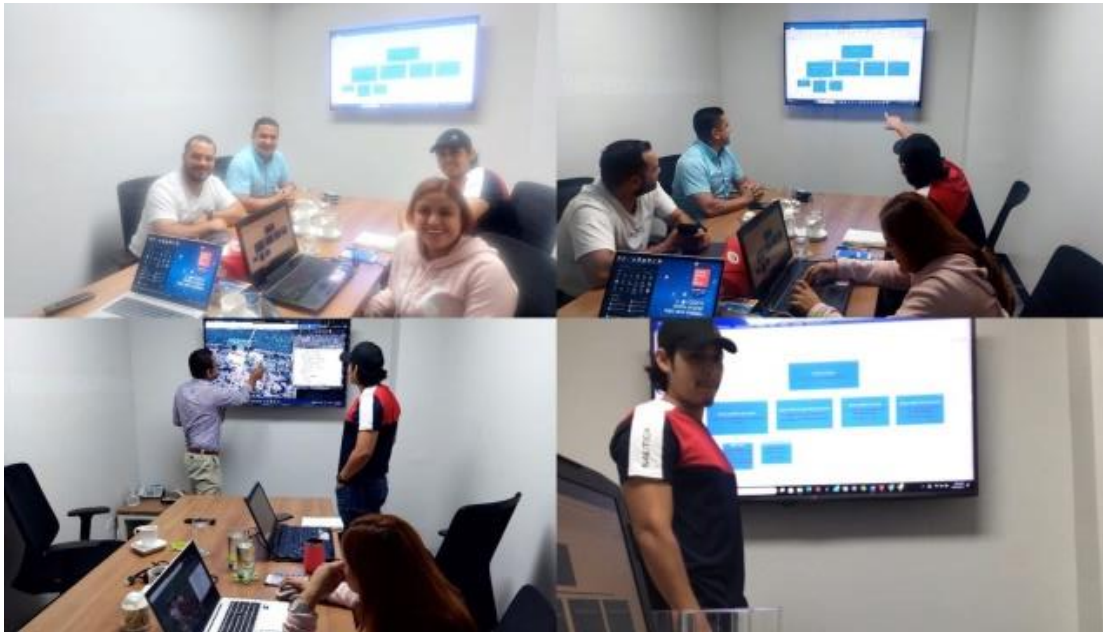


Figura 28. Reunión con gerentes generales de las empresas prestadores de servicios en el edificio corporativo Madreselva en Santa Elena, La Libertad.

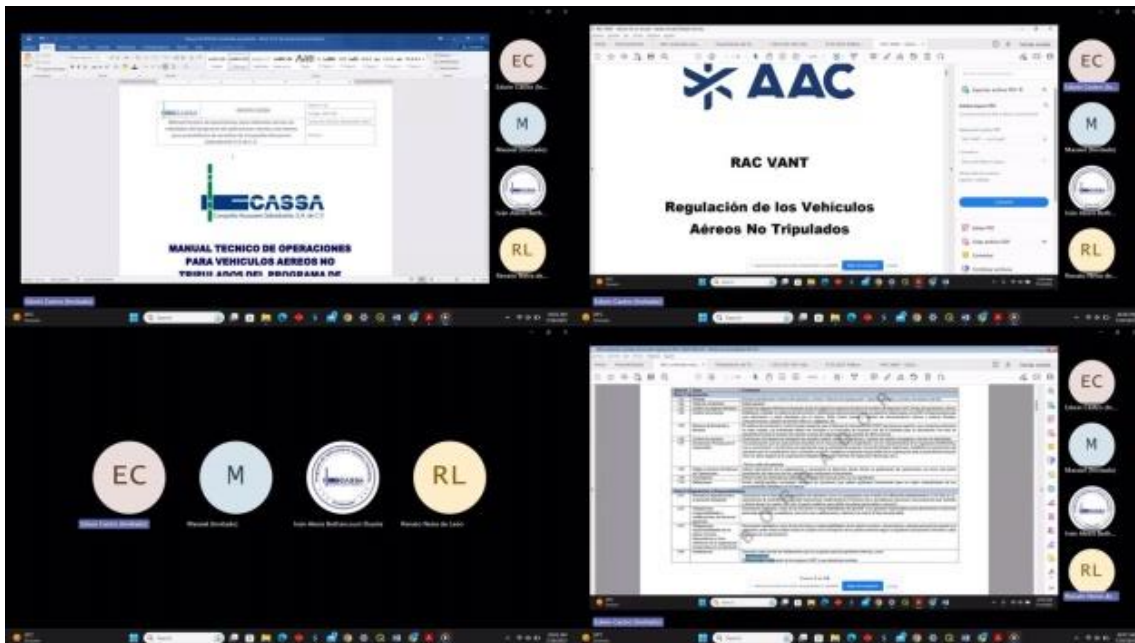


Figura 29. Reuniones con Ing. Renato Neira de Autoridad de Aviación Civil (AAC) y tutor externo de grupo CASSA, en línea.